

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-330587

(43) 公開日 平成11年(1999)11月30日

(51) Int.Cl.⁶ 識別記号
 H 0 1 L 43/08
 G 1 1 B 5/39
 H 0 1 F 10/30

F I
 H 0 1 L 43/08
 G 1 1 B 5/39
 H 0 1 F 10/30

Z

審査請求 未請求 請求項の数16 FD (全15頁)

(21) 出願番号 特願平10-152069

(22) 出願日 平成10年(1998)5月15日

(71) 出願人 000003067

ティーディーケイ株式会社
東京都中央区日本橋1丁目13番1号

(72) 発明者 荒木 悟

東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内

(72) 発明者 森田 治幸

東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内

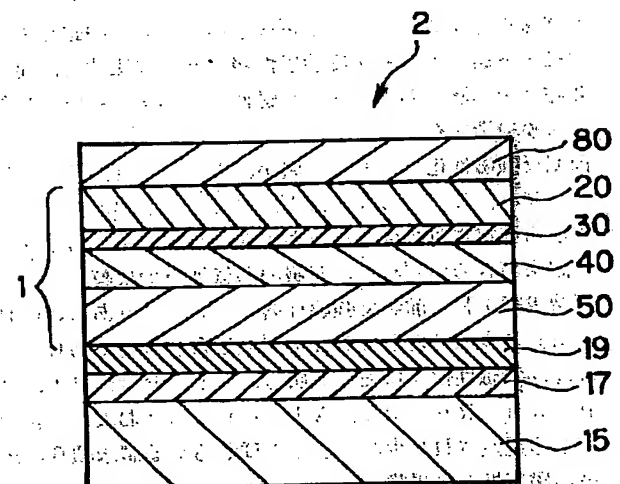
(74) 代理人 弁理士 皿田 秀夫 (外1名)

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果膜および磁気抵抗効果型ヘッド

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 積層膜中の相互拡散が極めて少なくMR変化率が大きくとれる磁気抵抗効果膜で、スピンバルブヘッドを構成した場合、感度が良好で、出力が大きくとれる磁気抵抗効果型ヘッドであり、スピンバルブ膜を構成する積層膜の薄膜化が可能で、製品のコンパクト化が図れ、さらには、エネルギーロスが少なくしかも生産性に優れる磁気抵抗効果膜。

【解決手段】 非磁性金属層30と、非磁性金属層の一方の面に形成された強磁性層40と、非磁性金属層の他方の面に形成された軟磁性層20と、強磁性層の磁化の向きをピン止めるために、強磁性層の非磁性金属層と接する面と反対側の面に形成された反強磁性層50とを有する多層膜を備えてなるスピンバルブ型の磁気抵抗効果膜であって、反強磁性層は、CuAu-I型の規則結晶構造をもつMn含有化合物からなり、当該反強磁性層は、反強磁性を示すためにレーザ照射により結晶化処理されてなるように構成される。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 非磁性金属層と、非磁性金属層の一方の面に形成された強磁性層と、非磁性金属層の他方の面に形成された軟磁性層と、前記強磁性層の磁化の向きをピン止めするために、強磁性層の非磁性金属層と接する面と反対側の面に形成された反強磁性層とを有する多層膜を備えてなるスピバルブ型の磁気抵抗効果膜であって、

前記反強磁性層は、CuAu-I型の規則結晶構造をもつMn含有化合物からなり、

当該反強磁性層は、反強磁性を示すためにレーザ照射により結晶化处理されてなることを特徴とする磁気抵抗効果膜。

【請求項2】 前記反強磁性層の結晶化处理は、当該反強磁性層の成膜が完了した時点で、その膜面に向けてレーザ照射されることにより行われてなる請求項1に記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項3】 前記反強磁性層の結晶化处理は、前記反強磁性層の成膜中に経時的に堆積する堆積物にレーザ照射しながら行なわれてなる請求項1に記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項4】 前記レーザ照射による結晶化处理は、真空成膜装置内にて行われる請求項1ないし請求項3のいずれかに記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項5】 前記反強磁性層は、PtMnもしくはPtMnを少なくとも80at%以上含む合金、またはNiMnあるいはNiMnを少なくとも80at%以上含む合金である請求項1ないし請求項4のいずれかに記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項6】 基板の上に直接または下地層を介して、反強磁性化プロモート層が形成され、この反強磁性化プロモート層の上に前記反強磁性層、前記強磁性層、前記非磁性金属層、および前記軟磁性層が順次、積層された多層膜構造を有し、

前記反強磁性化プロモート層が、Ir、Pd、Pt、Rh、Ru、Re、Os、Al、Cu、AuおよびAgの中から選定された少なくとも1種からなる請求項1ないし請求項5のいずれかに記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項7】 前記反強磁性層は、PtMnあるいはPtMnを少なくとも80at%以上含む合金であり、前記反強磁性化プロモート層は、Ir、Pd、Pt、Rh、Ru、Re、Os、Al、Cu、AuおよびAgの中から選定された少なくとも1種からなる請求項6に記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項8】 前記反強磁性層は、NiMnあるいはNiMnを少なくとも80at%以上含む合金であり、前記反強磁性化プロモート層は、Ir、Pd、Pt、Rh、Ru、ReおよびOsの中から選定された少なくとも1種からなる請求項6に記載の磁気抵抗効果膜。

【請求項9】 磁気抵抗効果膜と、導体膜と、電極部と

を含む磁気抵抗効果型ヘッドであって、

前記導体膜は、前記電極部を介して前記磁気抵抗効果膜と導通しており、

前記磁気抵抗効果膜は、非磁性金属層と、非磁性金属層の一方の面に形成された強磁性層と、非磁性金属層の他方の面に形成された軟磁性層と、前記強磁性層の磁化の向きをピン止めするために、強磁性層の非磁性金属層と接する面と反対側の面に形成された反強磁性層とを有する多層膜を備えてなるスピバルブ型の磁気抵抗効果膜であり、

前記反強磁性層は、CuAu-I型の規則結晶構造をもつMn含有化合物からなり、

当該反強磁性層は、反強磁性を示すためにレーザ照射により結晶化处理されてなることを特徴とする磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項10】 前記反強磁性層の結晶化处理は、当該反強磁性層の成膜が完了した時点で、その膜面に向けてレーザ照射されることにより行われてなる請求項9に記載の磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項11】 前記反強磁性層の結晶化处理は、前記反強磁性層の成膜中に経時的に堆積する堆積物にレーザ照射しながら行なわれてなる請求項9に記載の磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項12】 前記レーザ照射による結晶化处理は、真空成膜装置内にて行われる請求項9ないし請求項11のいずれかに記載の磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項13】 前記反強磁性層が、PtMnもしくはPtMnを少なくとも80at%以上含む合金、またはNiMnあるいはNiMnを少なくとも80at%以上含む合金である請求項9ないし請求項12のいずれかに記載の磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項14】 基板の上に直接または下地層を介して、反強磁性化プロモート層が形成され、この反強磁性化プロモート層の上に前記反強磁性層、前記強磁性層、前記非磁性金属層、および前記軟磁性層が順次、積層された多層膜構造を有し、

前記反強磁性化プロモート層が、Ir、Pd、Pt、Rh、Ru、Re、Os、Al、Cu、AuおよびAgの中から選定された少なくとも1種からなる請求項9ないし請求項13のいずれかに記載の磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項15】 前記反強磁性層は、PtMnあるいはPtMnを少なくとも80at%以上含む合金であり、前記反強磁性化プロモート層は、Ir、Pd、Pt、Rh、Ru、Re、Os、Al、Cu、AuおよびAgの中から選定された少なくとも1種からなる請求項14に記載の磁気抵抗効果型ヘッド。

【請求項16】 前記反強磁性層は、NiMnあるいはNiMnを少なくとも80at%以上含む合金であり、前記反強磁性化プロモート層は、Ir、Pd、Pt、R

h, Ru, ReおよびOsの中から選定された少なくとも1種からなる請求項14に記載の磁気抵抗効果型ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気記録媒体等の磁界強度を信号として読み取るための磁気抵抗効果膜のうち、特に小さな磁場変化を大きな電気抵抗変化信号として読み取ることのできる磁気抵抗効果膜および、それを用いた磁気抵抗効果型ヘッドに関する。これらは、主として、例えばハードディスクドライブ装置に組み込まれて使用される。

【0002】

【従来の技術】近年、ハードディスク（HDD）の高密度化に伴い、高感度、高出力のヘッドが要求されてきている。この要求に答えるべくして、スピナバルブヘッドの開発が進められている。

【0003】スピナバルブヘッドは、非磁性金属層を介して強磁性層がそれぞれ2層形成されており、一方の強磁性層に接して反強磁性層が配置された構成をなしている。反強磁性層と接している強磁性層は、反強磁性層と交換結合しており、これにより強磁性層の磁化方向は、一方向に固着（ピン止め）されている。もう一方の強磁性層は、外部磁界の変化に追従して自由に回転する。スピナバルブにおいては、この2つの強磁性層間のスピンの相対角度の差異によりMR変化を実現しており、反強磁性層と、これに接している強磁性層との交換結合がスピナバルブの本質といえる。

【0004】従来より、スピナバルブに用いられている反強磁性層としては、FeMn、NiMn、PtMn等の材料がよく知られている。

【0005】反強磁性層としてFeMnを用いた場合、成膜直後に強磁性層との間に交換結合が生じる。そのために、成膜後に交換結合を生じさせるための熱処理は不要となるが、強磁性層の成膜後に反強磁性層を成膜させなければならないという、成膜順の制約が生じる。また、FeMnを用いた場合、ブロック温度が150～170℃程度と低いという問題がある。ブロック温度とは磁性層をピンニングしている交換結合が消失する温度である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】一方、反強磁性層としてNiMnやPtMnを用いた場合、ブロック温度は300℃以上と高く、しかも、反強磁性層と強磁性層の成膜順の制約はない。しかしながら、反強磁性層と強磁性層の関係において、交換結合を生じさせるためには、双方積層成膜後に別途、磁界中での熱処理が必要となる。これは、NiMnおよびPtMnが反強磁性を示すためには、面心正方晶（fct）構造を有するCuAu-I型の規則結晶構造を形成しなければならないため

である。磁界中での熱処理は、通常、250～350℃の温度条件で行われ、温度が高いほど交換結合の程度は大きくなる傾向にある。しかしながら、高い温度での熱処理をスピナバルブ膜に施すと、スピナバルブ膜を構成する積層された薄膜界面での相互拡散が生じ、スピナバルブ膜の重要な膜特性であるMR変化率（MR Ratio）が低下してしまう。従って、スピナバルブヘッドを構成した場合、感度が悪く、出力が小さくなる。また、積層された薄膜界面での相互拡散が生じるために、所望のスピナバルブ膜特性を得ようとすれば、スピナバルブ膜を構成する積層膜の厚さを厚めに設定しなければならず、製品のさらなるコンパクト化が図れない。また、スピナバルブ膜形成後の熱処理は、高温かつ長時間のプロセスとなり、エネルギーおよび生産性の観点からの改善も要望されている。

【0007】このような実状のもとに本発明は創案されたものであり、その目的は、反強磁性層として反強磁性特性を発現するために熱処理が必要となるCuAu-I型の規則結晶構造をもつMn含有化合物を用いたスピナバルブ膜において、積層膜中の相互拡散が極めて少なくMR変化率（MR Ratio）が大きくとれる磁気抵抗効果膜を提供すること、さらには、スピナバルブヘッドを構成した場合、感度が良好で、出力が大きくとれる磁気抵抗効果型ヘッドを提供することにある。さらにはスピナバルブ膜を構成する積層膜の薄膜化が可能で、製品のさらなるコンパクト化が図れ、さらには、エネルギーロスが少なくしかも生産性に優れた磁気抵抗効果膜を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、非磁性金属層と、非磁性金属層の一方の面に形成された強磁性層と、非磁性金属層の他方の面に形成された軟磁性層と、前記強磁性層の磁化の向きをピン止めするために、強磁性層の非磁性金属層と接する面と反対側の面に形成された反強磁性層とを有する多層膜を備えてなるスピナバルブ型の磁気抵抗効果膜であって、前記反強磁性層は、CuAu-I型の規則結晶構造をもつMn含有化合物からなり、当該反強磁性層は、反強磁性を示すためにレーザ照射により結晶化処理されるように構成される。

【0009】また、本発明は、磁気抵抗効果膜と、導体膜と、電極部とを含む磁気抵抗効果型ヘッドであって、前記導体膜は、前記電極部を介して前記磁気抵抗効果膜と導通しており、前記磁気抵抗効果膜は、非磁性金属層と、非磁性金属層の一方の面に形成された強磁性層と、非磁性金属層の他方の面に形成された軟磁性層と、前記強磁性層の磁化の向きをピン止めするために、強磁性層の非磁性金属層と接する面と反対側の面に形成された反強磁性層とを有する多層膜を備えてなるスピナバルブ型の磁気抵抗効果膜であり、前記反強磁性層は、CuAu

— I 型の規則結晶構造をもつ Mn 含有化合物からなり、当該反強磁性層は、反強磁性を示すためにレーザ照射により結晶化処理されてなるように構成される。

【0010】また、好ましい態様として、前記反強磁性層の結晶化処理は、当該反強磁性層の成膜が完了した時点で、その膜面に向けてレーザ照射されることにより行われるように構成される。

【0011】また、好ましい態様として、前記反強磁性層の結晶化処理は、前記反強磁性層の成膜中に経時的に堆積する堆積物にレーザ照射しながら行なわれるように構成される。

【0012】また、好ましい態様として、前記レーザ照射による結晶化処理は、真空成膜装置内にて行われるように構成される。

【0013】また、好ましい態様として、前記反強磁性層は、PtMn もしくは PtMn を少なくとも 80 at % 以上含む合金、または NiMn あるいは NiMn を少なくとも 80 at % 以上含む合金であるように構成される。

【0014】また、好ましい態様として、基板の上に直接または下地層を介して、反強磁性化プロモート層が形成され、この反強磁性化プロモート層の上に前記反強磁性層、前記強磁性層、前記非磁性金属層、および前記軟磁性層が順次、積層された多層膜構造を有し、前記反強磁性化プロモート層が、Ir、Pd、Pt、Rh、Ru、Re、Os、Al、Cu、Au および Ag の中から選定された少なくとも 1 種からなるように構成される。

【0015】また、好ましい態様として、前記反強磁性層は、PtMn あるいは PtMn を少なくとも 80 at % 以上含む合金であり、前記反強磁性化プロモート層は、Ir、Pd、Pt、Rh、Ru、Re、Os、Al、Cu、Au および Ag の中から選定された少なくとも 1 種からなるように構成される。

【0016】また、好ましい態様として、前記反強磁性層は、NiMn あるいは NiMn を少なくとも 80 at % 以上含む合金であり、前記反強磁性化プロモート層は、Ir、Pd、Pt、Rh、Ru、Re および Os の中から選定された少なくとも 1 種からなるように構成される。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の具体的実施の形態について詳細に説明する。

【0018】図 1 は、本発明の磁気抵抗効果膜 2 の好適な一例を示す断面図である。この実施の態様において、磁気抵抗効果膜 2 は巨大磁気抵抗効果を示すスピンバルブ膜としての磁性多層膜 1 を備えている。

【0019】図 1 に示されるように、磁性多層膜 1 は、非磁性金属層 30 と、この非磁性金属層 30 の一方の面に形成された強磁性層 40 と、非磁性金属層 30 の他方の面に形成された軟磁性層 20 と、強磁性層 40 の磁化

の向きをピン止めするために強磁性層 40 の非磁性金属層 30 と接する面と反対側の面に形成された反強磁性層 50 とを有する積層体構造をなしている。さらに、図 1 に示される実施の形態の場合、より好ましい態様として、反強磁性層 50 の強磁性層 40 と接する面と反対側の面には反強磁性化プロモート層 19 が形成されている。

【0020】すなわち、これらの積層体は、図 1 に示される好適な実施の態様では、基板 15 の上に形成されており、基板 15 側から、下地層 17 を介して、反強磁性化プロモート層 19、反強磁性層 50、強磁性層 40、非磁性金属層 30、軟磁性層 20 の順に積層されている。軟磁性層 20 の上には、図示のごとく、さらに保護層 80 が形成されている。

【0021】この実施の態様における磁性多層膜 1 (スピンバルブ膜) では、外部から加わる信号磁界の向きに応じて非磁性金属層 30 を介して、その両側に隣接して形成された軟磁性層 20 と強磁性層 40 との互いの磁化の向きが実質的に異なることが必要である。その理由は、本発明の原理が、非磁性金属層 30 を介して形成された軟磁性層 20 と強磁性層 40 の磁化の向きがズレているとき、伝導電子がスピンに依存した散乱を受け、抵抗が増え、磁化の向きが互いに逆向きに向いたとき、最大の抵抗を示すことにあるからである。すなわち、本発明では、図 2 に示されるように外部からの信号磁場がプラス (記録媒体 90 の記録面 93 から向かって上向き (符号 92 で表される) であるとき、隣合った磁性層の磁化の方向が互いに逆向きの成分が生じ、抵抗が増大するのである。

【0022】ここで、本発明の磁気抵抗効果膜に用いられる (スピンバルブ) 磁性多層膜における、磁気記録媒体からの外部信号磁場と、軟磁性層 20 と強磁性層 40 の互いの磁化の方向、及び電気抵抗の変化の関係を説明する。

【0023】今、本発明の理解を容易にするために、図 1 に示されるごとく、1 つの非磁性金属層 30 を介して 1 組の軟磁性層 20 と強磁性層 40 とが存在する最もシンプルな磁性多層膜の場合について、図 2 を参照しつつ説明する。

【0024】図 2 に示されるように、強磁性層 40 は後に述べる方法によって媒体面に向かって下向き方向にその磁化をピン止めされている (符号 41)。もう一方の軟磁性層 20 は、非磁性金属層 30 を介して形成されているので、その磁化方向は外部からの信号磁界によって向きを変える (符号 21)。このとき、軟磁性層 20 と強磁性層 40 の磁化の相対角度は、磁気記録媒体 90 からの信号磁界の向きによって大きく変化する。その結果、磁性層内に流れる伝導電子が散乱される度合いが変化し、電気抵抗が大きく変化する。

【0025】これによってパーマロイの異方性磁気抵抗

効果とはメカニズムが本質的に異なる大きなMR (Magneto-Resistance) 効果が得られる。これは特にGMR (Giant-Magneto-Resistance) 効果と呼ばれる。

【0026】軟磁性層20、強磁性層40と、ピン止め効果を示す反強磁性層50の磁化の向きが外部磁場に対して相対的に変化する。それらの磁化の向きの変化が磁化曲線とMR曲線とに対応させて図3に示される。ここでは、反強磁性層50により、強磁性層40の磁化は全てマイナス方向（記録媒体90の記録面から向かって下向き）に固定されている。外部信号磁場がマイナスの時は軟磁性層20の磁化もマイナス方向を向く。いま、説明を簡単にするために軟磁性層20、強磁性層40の保磁力を0に近い値とする。信号磁場Hが $H < 0$ の領域(I)では、まだ軟磁性層20および強磁性層40両磁性層の磁化方向は一方を向いている。

【0027】外部磁場を上げてHが軟磁性層20の保磁力を超えると軟磁性層の磁化方向は信号磁場の方向に回転し、軟磁性層20および強磁性層40のそれぞれの磁化の向きが反平行となるにつれて磁化と電気抵抗が増加をする。そして一定値となる（領域(II)の状態）。このとき反強磁性層50により、あるピン止め磁場 H_{ua} が働いている。信号磁場がこの H_{ua} を越えると強磁性層40の磁化も信号磁場の方向に回転し、領域(III)で軟磁性層20および強磁性層40のそれぞれの磁化方向は、一方に揃って向く。このとき、磁化はある一定値に、MR曲線は0となる。

【0028】逆に信号磁場Hが減少するときは、今までと同様に、軟磁性層20および強磁性層40の磁化反転に伴い、領域(III)から(II)、(I)と順次変化する。ここで領域(II)のはじめの部分で、伝導電子がスピンの依存した散乱を受け、抵抗は大きくなる。領域(II)

のうち、強磁性層40はピン止めされているため、ほとんど磁化反転はしないが、軟磁性層20は直線的にその磁化を増加させるため、軟磁性層20の磁化変化に対応し、スピンの依存した散乱を受ける伝導電子の割合が徐々に大きくなる。すなわち、軟磁性層20に例えばHcの小さな $Ni_{0.8}Fe_{0.2}$ を選び、適当な一方向異方性磁場Hkを付与することにより、Hk付近以下の数0e〜数100eの範囲の小外部磁場で抵抗変化が直線的、かつ大きな抵抗変化率を示す磁性多層膜が得られる。

【0029】以下、上述してきた磁気抵抗効果膜2の各構成について詳細に説明する。この磁気抵抗効果膜における第一の特徴点は、前記反強磁性層50が、CuAu-I型の規則結晶構造をもつMn含有化合物からなり、当該反強磁性層50が、レーザ照射により加熱され結晶化処理されていることにある。この結晶化処理により反強磁性層50は反強磁性を示すようになる。

【0030】CuAu-I型の規則結晶構造に関しては、磁性体ハンドブック（朝倉書店）401〜403頁に記載されており、例えば、PtMn、NiMn、PdMnがとる結晶構造として定義される。

【0031】反強磁性層50としては、PtMn、NiMn、PdMnが挙げられ、中でも、PtMn、NiMnが好ましく、さらには、PtMnが最も好ましい。より大きな交換結合エネルギーJkを得ることができるからである。さらに、反強磁性層50は、3元系以上の組成、すなわち、PtMnを少なくとも80at%以上含む合金、またはNiMnを少なくとも80at%以上含む合金であってもよい。3元系の好適な組成例は以下の通りである。

【0032】

PtMn系

(I-1) PtMnRh

(I-2) PtMnCr

(I-3) PtMnPd

(I-4) PtMnIr

(I-5) PtMnNi

(I-6) PtMnAu

(I-7) PtMnAg

(I-8) PtMnFe

(I-9) PtMnCu

(I-10) PtMnRu

NiMn系

(II-1) NiMnRh

(II-2) NiMnCr

(II-3) NiMnPd

(II-4) NiMnIr

(II-5) NiMnFe

(II-6) NiMnAu

(II-7) NiMnAg

(II-8) NiMnCu

(II-9) NiMnRu

(II-10) NiMnCo

結晶化処理を行い反強磁性を発現させるためのレーザ照射の方法は以下の2つの方法に大別される。

【0033】(1)レーザ照射の方法I

反強磁性層の成膜が完了した時点で、その膜面に向けてレーザ照射をして結晶化処理を行う方法である。

【0034】すなわち、図4に示すごとく、基板15の上に、反強磁性層50を薄膜形成し、この反強磁性層50の膜の上からレーザ照射して、反強磁性層50を結晶

化させ反強磁性特性を発現させる。このレーザ照射は成膜を行う真空成膜装置内にて行われることが好ましい。反強磁性層50の膜面の酸化および不純物ガス粒子の吸着や汚れ等を防止するためである。このレーザ照射処理に引き続いて、処理された反強磁性層50の上に、強磁性層40、非磁性金属層30、軟磁性層20が順次、成膜され、いわゆるスピナル膜が形成される（以下、この積層順を「反強磁性層50ボトム(Bottom)タイプ」

という)。

【0035】また、図5に示されるごとく積層順を変え、基板15の上に、軟磁性層20、非磁性金属層30、強磁性層40および反強磁性層50を順次薄膜形成し(以下、この積層順を『反強磁性層50トップ(Top)タイプ』という)、この反強磁性層50の膜の上からレーザー照射して、反強磁性層50を結晶化させ反強磁性特性を発現させるようにしてもよい。もちろんこのレーザー照射は、上記図4の場合と同様に、成膜を行う真空成膜装置内にて行われることが好ましい。

【0036】このようにしてレーザー照射を用い、温度を上げることが必要な部分(ここでは反強磁性層50)のみを加熱することにより、スピバルブ膜を構成する積層された薄膜界面での相互熱拡散を防止することができる。従来は、スピバルブ膜を構成する薄膜を積層した後に、スピバルブ膜全体を長時間に亘って加熱するアニール処理により反強磁性層の結晶化を行っていたので、スピバルブ膜を構成する各薄膜界面での相互熱拡散が起こり、スピバルブ膜としての特性の劣化(例えば、MR変化率(MR ratio)の低下)が生じていた。

【0037】(2) レーザ照射の方法I I

反強磁性層の成膜中に経時的に堆積する堆積物に連続的にレーザー照射する方法である。これにより、反強磁性層を構成する堆積物が堆積すると同時に結晶化が進行する。この状態を示す概略概念図が図6に示される。この図において、符号50は、成膜途中の反強磁性層を構成する堆積物を示しており、レーザー照射により結晶化処理されている。また、符号50aは成膜途中の飛散粒子を示している。この方法I Iもやはり上記の『反強磁性層50ボトム(Bottom)タイプ』、『反強磁性層50トップ(Top)タイプ』いずれの場合であっても適用できる。このようにしてレーザー照射を用い、温度を上げることが必要な部分のみを加熱することにより、スピバルブ膜を構成する積層された薄膜界面での相互熱拡散を防止することができる。

【0038】用いるレーザーの照射条件としては、反強磁性層50の結晶化が発現できれば特に限定されるものではない。レーザーエネルギーは、1mJ~10J程度とするのが好適である。また、成膜された薄膜面上をレーザー処理する際には、レーザービームを高速度で走査させるいわゆるラスター(raster)スキャンによる処理方法や、レンズ系でコリメートビームにして1ショットの照射による処理方法等いずれを用いてもよい。ラスタースキャンによる処理方法の場合、スキャンのサイクル(周波数)は、1~1000サイクル/秒程度にするのがよい。また、用いるレーザーの種類についても特に制限はなく、所望の出力が得られるものを適宜選定して用いればよい。

【0039】このようなレーザー照射により反強磁性層50は結晶化処理され反強磁性を示す。これにより、反強

磁性層50と接して形成される強磁性層40のピンニング(ピン止め)が可能になる。

【0040】また、反強磁性層50が基板側に存在するいわゆる『反強磁性層50ボトム(Bottom)タイプ』において、強磁性層40と接する面と反対側の面(基板に近い方向)には、図1に示されるように反強磁性化プロモート層19を形成しておくことが好ましい。反強磁性化プロモート層19を設けておくことにより、レーザー照射による結晶化がさらに低いエネルギーで行え、膜質の低下もなくさらに良好な薄膜が得られる。また、反強磁性層50の層厚をより薄くすることが可能となり、これにより高密度記録が可能になる。

【0041】反強磁性化プロモート層19として、例えば、Ir, Pd, Pt, Rh, Ru, Re, Os, Al, Cu, AuおよびAg等が用いられ得るが、反強磁性化プロモート層19の選定に際しては、用いる反強磁性層50の材質との関係において、最高の効果が発現するように選定することが望ましい。

【0042】以下、反強磁性層50の好適材料としてPtMn系(3元素をも含む)を用いた場合と、NiMn系(3元素をも含む)を用いた場合について、反強磁性化プロモート層19の具体的材質をいかに選定すべきかを詳細に説明する。

【0043】(1) 反強磁性層50として、PtMn系を用いた場合

反強磁性層50として用いられるPtMnの組成割合(原子%)は、通常、Mnが40~60at%とされる。Mn含有量がこの範囲を外れると、一般に規則結晶構造を形成できなくなり、反強磁性を示さなくなってしまう。

【0044】反強磁性層50として、PtMn系を用いた場合、反強磁性化プロモート層19は、Ir, Pd, Pt, Rh, Ru, Re, Os, Al, Cu, AuおよびAgの中から選定された少なくとも1種から構成するのがよい。

【0045】上記元素の中で、より好ましい材料は、Pt, Pd, RhおよびReであり、さらに最も好ましい材料は、Pt, Pdである。

【0046】反強磁性化プロモート層19は上記の元素を含む合金でも良く、合金の好適例としては、例えば、PtRh, NiRhなどが挙げられ、これらの中では、特に、PtRhが好ましい。

【0047】このような反強磁性化プロモート層19の厚さは、0.1~10nm、好ましくは1~10nm、より好ましくは2~5nmとされる。この値が0.1未満となると、反強磁性化プロモート層19そのものの効果が発現なくなってしまう。また、この値が10nmを超えて層厚が厚くなりすぎると、反強磁性化プロモート層19の電気抵抗が小さくなり、本来この部分に流れてほしくないセンス電流が流れてしまい、出力低下に

つながるという不都合がある。

【0048】(2) 反強磁性層50として、NiMn系を用いた場合

反強磁性層50として用いられるNiMnの組成割合(原子%)は、通常、Mnが、40~60at%とされる。Mn含有量がこの範囲を外れると、一般に、規則結晶構造を形成できなくなり、反強磁性を示さなくなってしまう。

【0049】反強磁性層50として、NiMn系を用いた場合、反強磁性化プロモート層19は、Ir, Pd, Pt, Rh, Ru, ReおよびOsの中から選定された少なくとも1種から構成するのがよい。

【0050】上記元素の中で、より好ましい材料は、Pd, IrおよびRhであり、さらに最も好ましい材料は、Rh, Pdである。反強磁性化プロモート層19は上記の元素を含む合金でも良く、合金の好適例としては、例えば、PtRh, NiRhなどが挙げられ、これらの中では、特に、PtRhが好ましい。

【0051】このような反強磁性化プロモート層19の厚さは、上記(1)の場合と同様に、0.1~10nm、好ましくは1~10nm、より好ましくは、2~5nmとされる。この値が0.1未満となると、反強磁性化プロモート層19そのものの効果が発現しなくなってしまう。また、この値が10nmを超えて層厚が厚くなりすぎると、反強磁性化プロモート層19の電気抵抗が小さくなり、本来この部分に流れてほしくないセンス電流が流れてしまい、出力低下につながるという不都合がある。

【0052】反強磁性層50の厚さは、5~100nm、好ましくは5~80nm、より好ましくは5~50nm、更に好ましくは5~30nmの範囲とするのがよい。反強磁性層50の厚さが、5nmより薄くなると交換結合磁界 H_{ex} やブロッキング温度 T_b が急激に小さくなってしまふ。逆に厚い分は余り問題がないが、あまり厚すぎるとMRヘッドとしてのギャップ長(シールド-シールド間の長さ)が大きくなってしまい、超高密度磁気記録に適さなくなってしまう。従って、100nmより小さいほうがよい。

【0053】強磁性層40は、Fe, Ni, Co, Mn, Cr, Dy, Er, Nd, Tb, Tm, Ce, Gd等やこれらの元素を含む合金や化合物から構成されるが、特に、 $(Co_z Ni_{1-z})_w Fe_{1-w}$ (ただし、重量で $0.4 \leq z \leq 1.0$, $0.5 \leq w \leq 1.0$ である)で表される組成で構成することが好ましい。これらの組成範囲を外れると、大きな電気抵抗の変化が得られなくなるという不都合が生じる。

【0054】このような強磁性層40の厚さは、1.6~10nm、より好ましくは、2~6nmとされる。この値が、1.6nm未満となると、磁性層としての特性が失われる。この一方で、この値が10nmを超える

と、前記反強磁性層50からのピン止め磁界が小さくなり、この強磁性層のピン止め効果が十分に得られなくなる。

【0055】このような強磁性層40は上述のごとく反強磁性層50と直接接しているため、両者に直接層間相互作用が働き、強磁性層40の磁化回転が阻止される。なお、強磁性層40のピン方向は、所望のピン方向となるように磁場を印加させながら強磁性層40を成膜(depo)させればよい。

【0056】一方、後に詳述する軟磁性層20は、外部からの信号磁場により、自由にその磁化を回転させることができる。その結果、軟磁性層20と強磁性層40との両者の磁化に相対的な角度が生み出され、この磁化の向きの違いに起因した大きなMR効果が得られる。

【0057】軟磁性層20は、軟磁性特性を示すFe, Ni, Co等やこれらの元素を含む合金や化合物から構成されるが、保磁力 H_c の小さな磁性層を用いた方がMR曲線の立ち上がりが急峻となり、好ましい結果が得られる。軟磁性層20を下記に示すような2層構造にすることは、特に好ましい態様である。すなわち、非磁性金属層30側からCo(コバルト)単体あるいはCoを80重量%以上含む合金より構成された第1の軟磁性層と、 $(Ni_x Fe_{1-x})_y Co_{1-y}$ (ただし、重量で $0.7 \leq x \leq 0.9$, $0.5 \leq y \leq 1.0$)で表わされる組成である第2の軟磁性層との2層積層体として構成する。このような構成とすることにより、Coリッチな第1の軟磁性層が拡散ブロッキング層として働き、第2の軟磁性層側から非磁性金属層30側へとNiの拡散を防止することができる。また、Coリッチな第1の軟磁性層は電子の散乱能力を増大させるため、MR変化率が向上するという効果も発現する。なお、第2の軟磁性層は、ソフト磁性を維持させるために上記組成範囲内で形成される。

【0058】このような軟磁性層20の厚さは、2~15nm、好ましくは、3~15nm、さらに好ましくは、5~15nmとされる。この値が、2nm未満となると、良好な軟磁性層としての特性が得られない。この一方で、この値が15nmを超えると、多層膜全体の厚さが厚くなり、磁性多層膜全体の抵抗が大きくなり、MR効果が減少してしまう。なお、軟磁性層20を上記のように2層積層体とした場合には、Coリッチの第1の軟磁性層の厚さを、0.4nm以上確保すればよい。

【0059】このような軟磁性層20と前記強磁性層40との間に介在される非磁性金属層30は、効率的に電子を導くために、伝導性のある金属が望ましい。より具体的には、Au, Ag, およびCuの中から選ばれた少なくとも1種、またはこれらの少なくとも1種以上を60wt%以上含む合金等が挙げられる。

【0060】このような非磁性金属層30の厚さは、1.5~4nmであることが好ましい。この値が1.5

nm以下になると、このものを介して配置されている軟磁性層20と強磁性層40とが交換結合してしまい、軟磁性層20と強磁性層40とのスピンの向きがそれぞれ独立に機能しなくなってしまうという不都合が生じる。この値が4nmを超えると、上下に位置する軟磁性層20と強磁性層40の界面で散乱される電子の割合が減少してしまい、MR変化率の減少が起こってしまうという不都合が生じる。

【0061】保護層80は、通常、成膜プロセスの過程での磁性多層膜表面の酸化を防止し、その上部に形成される電極材料とのぬれ性や、密着強度の向上という目的のために形成される。保護層80は、Ti、Ta、W、Cr、Hf、Zr、Zn等の材質から形成される。厚さは、通常、3~30nm程度とされる。

【0062】基板15は、ガラス、ケイ素、MgO、GaAs、フェライト、アルティック、CaTiO₃等の材料により形成される。厚さは、通常、0.5~10mm程度とされる。

【0063】下地層17は、Ta、Hf、Cr、Zr等の材質から形成される。厚さは、通常、2~20nm程度とされる。

【0064】各層の材質及び層厚を上記のように規定し、さらに、少なくとも軟磁性層20の成膜時に、後述する膜面内の一方向に外部磁場を印加して、異方性磁界H_kを2~200e、より好ましくは2~160e、特に2~100e付与することが好ましい。

【0065】軟磁性層の異方性磁界H_kが20e未満となると、保磁力と同程度となってしまい、0磁場を中心とした直線的なMR変化曲線が実質的に得られなくなるため、MR素子としての特性が劣化する。また200eより大きいと、この膜をMRヘッド等に適用した場合、出力が低下しやすく、かつ分解能が低下する。ここでこれらのH_kは、外部磁場として成膜時に10~3000eの磁場を印加することで得られる。外部磁場が100e以下ではH_kを誘起するのに十分ではないし、また、3000eを超えても効果は変わらないが、磁場発生のためのコイルが大きくなってしまい、費用もかぎりで非効率的である。

【0066】上述してきた磁性多層膜1をそれぞれ繰り返し積層したものを、磁気抵抗効果膜とすることもできる。磁性多層膜の繰り返し積層回数nに特に制限はなく、目的とする磁気抵抗変化率等に応じて適宜選択すればよい。昨今の磁気記録の超高密度化に対応するためには、磁性多層膜の全層厚が薄いほど良い。しかし薄くなると通常、MR効果は同時に小さくなってしまいが、本発明に用いられる磁性多層膜は、繰り返し積層回数nが1の場合でも十分実用に耐えうる多層膜を得ることができる。また、積層数を増加するに従って、抵抗変化率も増加するが、生産性が悪くなり、さらにnが大きすぎると素子全体の抵抗が低くなりすぎて実用上の不都合が生じ

ることから、通常、nを10以下とするのが好ましい。nの好ましい範囲は1~5である。

【0067】前記磁性多層膜1の各層の成膜は、スパッタリングにて行なわれる。磁性多層膜1の成膜、特に、反強磁性層50の成膜に際して、真空成膜装置内の到達圧力は 2×10^{-9} Torr以下、好ましくは 8×10^{-10} Torr以下、さらに好ましくは 2×10^{-10} Torr以下に設定される。到達圧力とは、成膜開始前の成膜装置内の圧力として定義され、成膜時の圧力とは異なる。

【0068】到達圧力 2×10^{-9} Torr以下という範囲は、膜質の向上という観点から、従来より提案されていない範囲のものである。到達圧力 2×10^{-9} Torr以下の条件を達成するためには、一般には行なわれていないスパッタ装置の構成が必要となる。すなわち、真空シール部分をすべて金属ガスケットとすること、装置を全てステンレスもしくはAlで形成すること、装置の組み上げ時に真空中高温でガス出しすること、および排気動作の中で真空槽全体を高温にベーキングして残留ガス、H₂O分を徹底的に強制排気すること、および 2×10^{-9} Torr以下での動作が可能な特殊な排気ポンプを使用することが必要である。

【0069】また、スパッタリングで用いられるターゲットに含有される酸素濃度は、反強磁性層50の形成の場合、1~600原子ppm、好ましくは1~500原子ppm、より好ましくは1~300原子ppmに設定するのがよい。ここで、ターゲットに含有される酸素濃度とは、ターゲットの一部を用いて燃焼させ生成したCO₂ガス量を用いて分析される。さらに、スパッタ時に導入されるスパッタガス中の不純物（例えば、H₂O、CO₂、He等）の濃度の合計は、0.1~100原子ppb、好ましくは0.1~50原子ppb、さらに好ましくは0.1~10原子ppb、またさらに好ましくは0.1~5原子ppbに設定するのがよい。特に、スパッタガス中のH₂O不純物濃度は、膜質に影響を及ぼしやすく40原子ppb以下、好ましくは10原子ppb以下、さらに好ましくは5原子ppb以下に設定するのがよい。なお、実際の成膜が行われている間の真空成膜装置内の運転圧力は、通常、 1×10^{-4} ~ 1×10^{-2} Torrに設定される。

【0070】本発明における磁性多層膜1の各層の成膜は、それぞれ、上記の成膜条件に従って行うことが、磁気抵抗効果膜の特性をさらに向上させるために望ましい。

【0071】基板15としては、前述したようにガラス、ケイ素、MgO、GaAs、フェライト、アルティック、CaTiO₃等を用いることができる。成膜に際しては、前述したように軟磁性層20成膜時に、膜面内の一方向に10~3000eの外部磁場を印加することが好ましい。これにより、軟磁性層20に異方性磁場H_k

を付与することができる。なお、外部磁場の印加方法は、軟磁性層20成膜時のみ、磁場の印加時期を容易に制御できる。例えば電磁石等を備えた装置を用いて印加し、反強磁性層50成膜時は印加しない方法であってもよい。あるいは、成膜時を通して常に一定の磁場を印加する方法であってもよい。

【0072】また、前述したように、少なくとも軟磁性層20の成膜時に膜面内の一方に外部磁場を印加して異方性磁場H_kを誘起することで、さらに高周波特性を優れたものとすることができる。

【0073】さらに、『反強磁性層50ボトム(Bottom)タイプ』の多層膜構成においては、反強磁性層50を成膜する際には、軟磁性層20を成膜する際の印加磁場の方向と垂直方向に磁場を印加すると良い。つまり磁性多層膜の膜面内でかつ、測定電流と直角方向となる(いわゆる直交化処理)。磁場の大きさは10~3000eの範囲にあればよい。本発明のレーザ照射による結晶化処理(レーザアニール)を実施する(この際にも磁場が印加されている)ことにより、反強磁性層50により反強磁性層50の上に積層される強磁性層40の磁化の方向が確実に印加磁場方向(測定電流と直角方向)に固着され、信号磁場によってその向きを容易に変えうる軟磁性層20の磁化と最も合理的に反平行状態を作り出すことができる。なお、強磁性層40の成膜の際にも直交化のための磁場が印加される。

【0074】一方、『反強磁性層50トップ(Top)タイプ』の多層膜構成において、強磁性層40を成膜する場合には、ボトム(Bottom)タイプと同様に、軟磁性層20を成膜する際の印加磁場の方向と垂直方向に磁場を印加すると良い。つまり磁性多層膜の膜面内でかつ、測定電流と直角方向となる(いわゆる直交化処理)。磁場の大きさは10~3000eの範囲にあればよい。その後、この強磁性層40の上に反強磁性層50を成膜する際、あるいは反強磁性層50を成膜した後に、本発明のレーザ照射による結晶化処理(レーザアニール)を実施する(この際にも磁場が印加されている)。反強磁性層50の成膜時には、ボトム(Bottom)タイプと同様に、強磁性層40を成膜したときと同じ方向に磁場を印加しながら行う。

【0075】上記の実施の態様で説明した、磁性多層膜を備える磁気抵抗効果膜は、磁気抵抗効果型ヘッド(MRヘッド)、MRセンサ、強磁性メモリ素子、角度センサ等に応用される。

【0076】以下、磁気抵抗効果膜2(図1)を磁気抵抗効果型ヘッドに應用した例を挙げて説明する。本発明における磁気抵抗効果型ヘッド(MRヘッド)としては、巨大磁気抵抗効果(GMR)を示す磁性多層膜を備えるスピバルブヘッドが好適例として挙げられる。

【0077】以下、磁気抵抗効果型ヘッド(MRヘッド)としてスピバルブヘッドを採り挙げて説明する。

【0078】図7に示されるように磁気抵抗効果型ヘッ

ド(MRヘッド)150は、信号磁場を感磁するための感磁部分としての磁気抵抗効果膜200と、この磁気抵抗効果膜200の両端部200a、200aに形成された電極部100、100とを有している。そして、感磁部分としての磁気抵抗効果膜200の端部200a、200aは、その両端部全体が電極部100、100に接する状態で接続されていることが好ましい。なお、導体膜120、120は、前記電極部100、100を介して磁気抵抗効果膜200と導通している。本発明では、後の説明をわかりやすくするために、便宜上、導体膜120と電極部100とに分けているが、導体膜120と電極部100は、本来一体的に薄膜形成法により形成されている場合が多く、これらは一つ部材と考えてもよい。

【0079】MRヘッドにおける感磁部分としての磁気抵抗効果膜200は、前記図1に示される磁性多層膜1を有する磁気抵抗効果膜2と実質的に同様な積層構造のものが用いられる。すなわち、磁気抵抗効果膜200は、実質的に図1に示される磁性多層膜を有する磁気抵抗効果膜2に置換され、その結果、磁気抵抗効果膜200は、非磁性金属層30と、非磁性金属層30の一方の面に形成された強磁性層40と、非磁性金属層30の他方の面に形成された軟磁性層20と、前記強磁性層40の磁化の向きをピン止めするために強磁性層40の非磁性金属層30と接する面と反対側の面に形成された反強磁性層50と、より好ましい態様としてこの反強磁性層50の強磁性層40と接する面と反対側の面に形成された反強磁性化プロモート層19を有している。

【0080】磁気抵抗効果膜200は、いわゆるスピバルブ型の磁気抵抗変化を示す。スピバルブ型の磁気抵抗変化とは、非磁性金属層30と、非磁性金属層30の一方の面に形成された強磁性層40と、非磁性金属層30の他方の面に形成された軟磁性層20と、前記強磁性層40の磁化の向きをピン止めするために強磁性層の上に形成された反強磁性層50とを有する磁性多層膜において、外部の信号磁界が0の時に軟磁性層20とピン止めされた強磁性層40のスピンの成す角度が、鋭角方向から見てほぼ、90度に近く設定されているものをいう。実際は45~90度の角度であることが多いが、特に好ましくは90度(磁化の直交化)に設定するのがよい。磁気抵抗効果曲線(MR曲線)が、外部磁場が0のときを中心にしてプラス、マイナスの外部磁場に対し、左右非対称となるようにするためである。

【0081】図7に示されるように磁気抵抗効果型ヘッド(MRヘッド)150には、磁気抵抗効果膜200および電極部100、100を上下にはさむようにシールド層300、300が形成されるとともに、磁気抵抗効果膜200とシールド層300、300との間の部分には非磁性絶縁層400が形成される。

【0082】ここで感磁部分としての磁気抵抗効果膜2

00に用いられる強磁性層40、非磁性金属層30、軟磁性層20、反強磁性層50、およびより好ましい態様として用いられる反強磁性化プロモート層19は、それぞれ、前記磁性多層膜の実施例で述べたものと同様の材質、厚さのものをを用いることが望ましい。

【0083】図7に示すように、電流を流す電極部100を磁気抵抗効果膜200の積層方向にその端部200a、200a全体が接する構造とする。すると、電子は軟磁性層20と強磁性層40に挟まれた部分を中心に流れつつ、軟磁性層20と強磁性層40とのスピンの方向によって磁気散乱され、素子の抵抗が大きく変化する。したがって微小な外部磁場の変化を大きな電気抵抗の変化として検出することができるのである。

【0084】また、本願発明のスピバルブ膜を備えるMRヘッドは、図8に示されるようなヘッド構造とすることが特に好ましい。すなわち、感磁部分である磁気抵抗効果膜200と測定電流を流すための電極部100との間に、図示のごとく磁気抵抗効果膜200側から連結用軟磁性層520および反強磁性層800（ないしは硬磁性層800）を順次介在させる。しかも、連結用軟磁性層520および反強磁性層800（ないしは硬磁性層800）の一方端側は、磁気抵抗効果膜200の上部200a（軟磁性層に近い方向）の一部分を覆うように、かつ他方端側は図示のごとく電極部100下面101まで潜り込んで形成される。さらに、電極部100のヘッド中央側に位置する端部102は、磁気抵抗効果膜200の上部200a（軟磁性層に近い方向）の一部分を覆い、かつ、連結用軟磁性層520および反強磁性層800の上部端部520a、800aをもそれぞれ覆うように形成される。なお、連結用軟磁性層520としては、例えば、NiFe、NiFeCr、NiFeRh、NiFeRu、CoZrNb、FeAlSi、FeZrN等（厚さ10nm程度）が用いられ、反強磁性層800としては、Ru₅Rh₁₅Mn、NiMn、FeMn、PtMn、 α -Fe₂O₃等（厚さ50nm程度）が用いられ、硬磁性層800としては、CoPt、CoPtCr等（厚さ50nm程度）が用いられる。

【0085】このような構成とすることにより、磁気抵抗効果膜200に形成される連結用軟磁性層520および反強磁性層800の両方の効果によって極めて効率的に縦バイアスを付与することができ、バルクハウゼンノイズを抑制したMRヘッド特性が得られる。また、電極部100の端部102が、前述のように磁気抵抗効果膜200を覆うように形成されていることにより、素子端部での信号磁場の低下がなく、しかも1 μ m以下のような狭トラック幅の形成が容易なMRヘッドが提供できる。

【0086】

【実施例】上述してきた磁気抵抗効果膜の発明、およびこれを用いた磁気抵抗効果型ヘッドの発明を以下に示す具

体的実験例によりさらに詳細に説明する。

【0087】〔実験例I〕

（実施例サンプルI-1の作製）以下の要領で実際に、スピバルブ（SV）タイプの磁気抵抗効果型ヘッドの主要部であるスピバルブ型の磁気抵抗効果膜を作製した。すなわち、基板15（Al₂O₃付きのAlTiC）の上に、下地層17（Ta；厚さ2nm）、反強磁性化プロモート層19（Ph；厚さ2nm）、ピン止め層としての反強磁性層50（Pt₄₈Mn₅₂；厚さ15nm）、強磁性層40（Co；厚さ3nm）、非磁性金属層30（Cu；厚さ3nm）、軟磁性層20（Co（厚さ1nm）+NiFe（厚さ6nm））および保護層80（Ta；厚さ5nm）を順次積層してスピバルブ型の磁気抵抗効果膜（実施例サンプルI-1）を作製した。

【0088】このサンプルは、真空成膜装置を用いスパッタ法により作製し、スパッタ条件として真空成膜装置の到達圧力を 8×10^{-10} Torrとした。なお、磁気抵抗効果膜の成膜に際し、ピン止め層としての反強磁性層50の成膜が完了した時点で、その膜面に向けてレーザ照射して、反強磁性層50の結晶化処理を行い反強磁性層の反強磁性化を実現させた。その後、一定方向に誘導磁場を与えて磁場中で強磁性層40を成膜させた。レーザ照射は、ラスタースキャン法により行い、照射エネルギー800mJ、周波数10サイクル/秒とした。なお、反強磁性層50の成膜時およびレーザ照射による結晶化処理時においても、直交化の磁場処理を行った。

【0089】（実施例サンプルI-2の作製）上記実施例サンプルI-1において、反強磁性層の結晶化処理に用いるレーザ照射の仕方を変えた。すなわち、反強磁性層の成膜中に経時的に堆積する堆積物にレーザ照射することにより反強磁性層の結晶化処理を行った。それ以外は、上記実施例サンプルI-1の場合と同様にして、本発明の実施例サンプルI-2を作製した。

【0090】（実施例サンプルI-3の作製）上記実施例サンプルI-1において、反強磁性化プロモート層19（Ph；厚さ2nm）を形成しなかった。また、反強磁性層50の厚さを15nmから20nmに変えた。それ以外は、上記実施例サンプルI-1の場合と同様にして、本発明の実施例サンプルI-3を作製した。

【0091】（実施例サンプルI-4の作製）上記実施例サンプルI-2において、反強磁性化プロモート層19（Ph；厚さ2nm）を形成しなかった。また、反強磁性層50の厚さを15nmから20nmに変えた。それ以外は、上記実施例サンプルI-2の場合と同様にして、本発明の実施例サンプルI-4を作製した。

【0092】（実施例サンプルI-5の作製）以下の要領で、スピバルブ（SV）タイプの磁気抵抗効果型ヘッドの主要部であるスピバルブ型の磁気抵抗効果膜を作製した。すなわち、基板15（Al₂O₃付きのAl

TiC)の上に、下地層17 (Ta; 厚さ2 nm)、軟磁性層20 (NiFe; 厚さ7 nm)、非磁性金属層30 (Cu; 厚さ3 nm)、強磁性層40 (Co; 厚さ3 nm)、ピン止め層としての反強磁性層50 (Pt₄₈Mn₅₂; 厚さ20 nm)、および保護層80 (Ta; 厚さ5 nm)を順次積層してスピバルブ型の磁気抵抗効果膜(実施例サンプルI-5)を作製した。

【0093】このサンプルは、真空成膜装置を用いスパッタ法により作製し、スパッタ条件として真空成膜装置の到達圧力を 8×10^{-10} Torrとした。なお、磁気抵抗効果膜の成膜に際し、一定方向に誘導磁場を与えて磁場中で強磁性層40を成膜させた後、ピン止め層としての反強磁性層50の成膜が完了した時点で、その膜面に向けてレーザ照射して、反強磁性層50の結晶化処理を行い反強磁性層の反強磁性化を実現させた。レーザ照射は、ラスタースキャン法により行い、レーザ照射エネルギー500 mJ、周波数30サイクル/秒とした。なお、反強磁性層50の成膜時およびレーザ照射による結晶化処理時においても、直交化の磁場処理を行った。

【0094】(実施例サンプルI-6の作製) 上記実施例サンプルI-5において、反強磁性層の結晶化処理に用いるレーザ照射の仕方を変えた。すなわち、反強磁性層の成膜中に経時的に堆積する堆積物にレーザ照射することにより反強磁性層の結晶化処理を行った。それ以外は、上記実施例サンプルI-5の場合と同様にして、本発明の実施例サンプルI-6を作製した。

【0095】(実施例サンプルI-7の作製) 上記実施例サンプルI-1において、ピン止め層としての反強磁性層50の材質をNi₄₈Mn₅₂に、膜厚を17 nmに、それぞれ変えた。それ以外は、上記実施例サンプルI-1の場合と同様にして、本発明の実施例サンプルI-7を作製した。

【0096】(実施例サンプルI-8の作製) 上記実施例サンプルI-5において、ピン止め層としての反強磁性層50の材質をNi₄₈Mn₅₂に、膜厚を17 nmに、それぞれ変えた。それ以外は、上記実施例サンプルI-5の場合と同様にして、本発明の実施例サンプルI-8を作製した。

【0097】(実施例サンプルI-9の作製) 上記実施例サンプルI-7において、反強磁性化プロモート層19 (Ph; 厚さ2 nm)を形成しなかった。それ以外は、上記実施例サンプルI-7の場合と同様にして、本発明の実施例サンプルI-9を作製した。

【0098】(実施例サンプルI-10の作製) 上記実施例サンプルI-1において、ピン止め層としての反強磁性層50の材質をPt₃₈Mn₅₂Rh₁₀に、膜厚を20 nmに変えた。それ以外は、上記実施例サンプルI-1の場合と同様にして、本発明の実施例サンプルI-10を作製した。

【0099】(実施例サンプルI-11の作製) 上記実

施例サンプルI-10において、ピン止め層としての反強磁性層50の材質をPt₃₈Mn₅₂Cr₁₀に変えた。それ以外は、上記実施例サンプルI-10の場合と同様にして、本発明の実施例サンプルI-11を作製した。

【0100】(実施例サンプルI-12の作製) 上記実施例サンプルI-10において、ピン止め層としての反強磁性層50の材質をPt₃₈Mn₅₂Pd₁₀に変えた。それ以外は、上記実施例サンプルI-10の場合と同様にして、本発明の実施例サンプルI-12を作製した。

【0101】(比較例サンプルI-1の作製) 上記実施例サンプルI-1において、反強磁性層50の結晶化処理のためのレーザ照射を行わなかった。その代わりに、スピバルブ型積層膜を形成後に、積層膜全体を、260℃、5時間の熱処理(アニール処理)により、反強磁性層50の結晶化を行い、さらに、磁場中、徐冷しながら約15時間かけて強磁性層40のピンニングを行った(直交化処理)。それ以外は、上記実施例サンプルI-1の場合と同様にして、比較例サンプルI-1を作製した。

【0102】(比較例サンプルI-2の作製) 上記実施例サンプルI-5において、反強磁性層50の結晶化処理のためのレーザ照射を行わなかった。その代わりに、スピバルブ型積層膜を形成後に、積層膜全体を、260℃、5時間の熱処理(アニール処理)により、反強磁性層50の結晶化を行い、さらに、磁場中、徐冷しながら約15時間かけて強磁性層のピンニングを行った(直交化処理)。それ以外は、上記実施例サンプルI-5の場合と同様にして、比較例サンプルI-2を作製した。

【0103】(比較例サンプルI-3の作製) 上記実施例サンプルI-7において、反強磁性層50の結晶化処理のためのレーザ照射を行わなかった。その代わりに、スピバルブ型積層膜を形成後に、積層膜全体を、260℃、5時間の熱処理(アニール処理)により、反強磁性層50の結晶化を行い、さらに、磁場中、徐冷しながら約15時間かけて強磁性層のピンニングを行った(直交化処理)。それ以外は、上記実施例サンプルI-7の場合と同様にして、比較例サンプルI-3を作製した。

【0104】(比較例サンプルI-4の作製) 上記実施例サンプルI-10において、反強磁性層50の結晶化処理のためのレーザ照射を行わなかった。その代わりに、スピバルブ型積層膜を形成後に、積層膜全体を、260℃、5時間の熱処理(アニール処理)により、反強磁性層50の結晶化を行い、さらに、磁場中、徐冷しながら約15時間かけて強磁性層のピンニングを行った(直交化処理)。それ以外は、上記実施例サンプルI-10の場合と同様にして、比較例サンプルI-4を作製した。

【0105】(比較例サンプルI-5の作製) 上記実施

例サンプルI-11において、反強磁性層50の結晶化処理のためのレーザ照射を行わなかった。その代わりに、スピナバルブ型積層膜を形成後に、積層膜全体を、260℃、5時間の熱処理（アニール処理）により、反強磁性層50の結晶化を行い、さらに、磁場中、徐冷しながら約15時間時間かけて強磁性層のピンニングを行った（直交化処理）。それ以外は、上記実施例サンプルI-11の場合と同様にして、比較例サンプルI-5を作製した。

【0106】（比較例サンプルI-6の作製）上記実施例サンプルI-12において、反強磁性層50の結晶化処理のためのレーザ照射を行わなかった。その代わりに、スピナバルブ型積層膜を形成後に、積層膜全体を、260℃、5時間の熱処理（アニール処理）により、反強磁性層50の結晶化を行い、さらに、磁場中、徐冷しながら約15時間時間かけて強磁性層のピンニングを行

$$\Delta R/R = (\rho_{\max} - \rho_{\text{sat}}) \times 100 / \rho_{\text{sat}} (\%)$$

【0110】交換結合エネルギーJk
交換結合エネルギーJkは、振動試料型磁力計（VSM）を用いて1KOeの磁場にて磁化曲線を描き、この磁化曲線より、交換結合磁界H_{ex}および強磁性層40の飽和磁束密度M_sを求め、これらの値を用いてJkを算出した。交換結合磁界H_{ex}は、例えば、図9に示されるような磁化曲線において、原点FからジフトしたE点（C点とD点の間）の磁界として定義される。なお、図

った（直交化処理）。それ以外は、上記実施例サンプルI-12の場合と同様にして、比較例サンプルI-6を作製した。

【0107】このようにして作製した各サンプルについて、MR変化率および交換結合エネルギーJkを下記の要領で求めた。

【0108】MR変化率

MR変化率 $\Delta R/R$ は、0.4×6mmの大きさの測定サンプルを作成し、外部磁界を面内に電流と垂直方向になるようにかけながら、-300～300Oeまで変化させたときの抵抗を4端子法により測定した。その抵抗からMR変化率 $\Delta R/R$ を求めた。MR変化率 $\Delta R/R$ は、最大比抵抗を ρ_{\max} 、最小比抵抗を ρ_{sat} とし、次式により計算した。

【0109】

中、磁化曲線Aは磁化容易軸方向（成膜時に磁場を印加した方向）、磁化曲線Bは磁化困難軸方向を示している。

【0111】以上の各サンプルについて測定したMR変化率および交換結合エネルギーJkを下記表1にそれぞれ示す。

【0112】

【表1】

サンプル No.	反強磁性層 材質	反強磁性層 厚さ (nm)	反強磁性層 の位置	反強磁性化 加工層	反強磁性層の 結晶化処理法	MR変化率 (%)	Jk (erg/cm ²)
実施例I-1	PtMn	15	Bottom	Rh	レーザ照射 I	9.2	0.48
実施例I-2	PtMn	15	Bottom	Rh	レーザ照射 II	8.9	0.46
実施例I-3	PtMn	20	Bottom	なし	レーザ照射 I	8.1	0.45
実施例I-4	PtMn	20	Bottom	なし	レーザ照射 II	7.9	0.43
実施例I-5	PtMn	20	Top	なし	レーザ照射 I	7.7	0.42
実施例I-6	PtMn	20	Top	なし	レーザ照射 II	7.5	0.38
実施例I-7	NiMn	17	Bottom	Rh	レーザ照射 I	8.2	0.48
実施例I-8	NiMn	17	Top	Rh	レーザ照射 I	7.9	0.43
実施例I-9	NiMn	17	Bottom	なし	レーザ照射 I	7.6	0.43
実施例I-10	PtMnRh	20	Bottom	Rh	レーザ照射 I	8.8	0.42
実施例I-11	PtMnCr	20	Bottom	Rh	レーザ照射 I	8.5	0.41
実施例I-12	PtMnPd	20	Bottom	Rh	レーザ照射 I	8.3	0.42
比較例I-1	PtMn	15	Bottom	Rh	従来法	6.8	0.33
比較例I-2	PtMn	20	Top	なし	従来法	6.2	0.30
比較例I-3	NiMn	17	Bottom	なし	従来法	6.1	0.30
比較例I-4	PtMnRh	20	Bottom	Rh	従来法	8.0	0.35
比較例I-5	PtMnCr	20	Bottom	Rh	従来法	6.3	0.29
比較例I-6	PtMnPd	20	Bottom	Rh	従来法	6.3	0.29

レーザ照射 I : 反強磁性層を成膜後、その膜面にレーザ照射をする方法

レーザ照射 II : 反強磁性層を成膜中、その堆積物にレーザ照射をする方法

従来法 : スピナバルブ膜積層体を形成後に、積層体を一括して熱処理（アニール）する方法

表1に示される結果より、同じ膜構成をベースとし、本発明サンプルと比較例サンプルとを比較した場合、本発明サンプルのMR変化率は、1.3～2.4%も高い値となっていることがわかる。さらに本発明サンプルの交

換結合エネルギーJkは、0.08～0.15erg/cm²も高い値となっていることがわかる。これにより、レーザ照射して、反強磁性層50の結晶化処理をした本発明のサンプルは、交換結合エネルギーJkが高く

MR変化率の劣化が少ないことがわかる。また、本発明サンプルの積層断面の状態と比較例サンプルの積層断面の状態の違いを透過型電子顕微鏡にて確認したところ、本発明サンプルのものは、比較例サンプルのものと比べて、積層された薄膜界面がクリアに分かれていることが確認できた。

【0113】〔実験例ⅠⅠ〕図10には、本発明の磁気抵抗効果膜をヨーク型MRヘッドに応用した例が示される。ここでは、磁束を導くヨーク600、600の一部に切り欠きを設け、その間に磁気抵抗効果膜200が薄い絶縁膜400を介して形成されている。この磁気抵抗効果膜200には、ヨーク600、600で形成される磁路の方向と平行または直角方向に電流を流すための電極（図示せず）が形成されている。

〔実験例ⅠⅠⅠ〕図11には、本発明における磁気抵抗効果素子をフラックスガイド型MRヘッドに応用した1例が示される。磁気抵抗効果膜200は、高比抵抗、高透磁率なフラックスガイド層700、710と磁氣的に結合して形成されている。このフラックスガイド層700、710が間接的に信号磁界を磁気抵抗効果膜200に伝導する。また、非磁性絶縁層400を介して、フラックスバックガイド層600（磁気抵抗効果膜200を通った磁束の逃げ道）が形成される。また、フラックスバックガイド層600は、非磁性絶縁層400を介して磁気抵抗効果膜200の両側に設置されても良い。このヘッドの特徴は、記録媒体に磁界検出部を、ほぼ接触に近いレベルまで接近させることができ、高い出力を得ることができることにある。

【0114】

〔発明の効果〕上記の結果より本発明の効果は明らかである。すなわち、本発明は、非磁性金属層と、非磁性金属層の一方の面に形成された強磁性層と、非磁性金属層の他方の面に形成された軟磁性層と、前記強磁性層の磁化の向きをピン止めするために、強磁性層の非磁性金属層と接する面と反対側の面に形成された反強磁性層とを有する多層膜を備えてなるスピバルブ型の磁気抵抗効果膜であって、前記反強磁性層は、CuAu-I型の規則結晶構造をもつMn含有化合物からなり、当該反強磁性層は、反強磁性を示すためにレーザ照射により結晶化処理されてなるように構成されているので、積層膜中の相互拡散が極めて少なくMR変化率(MR Ratio)が極めて大きいという優れた効果が発現する。また、スピバルブヘッドを構成した場合、感度が良好で、出力が大きくとれるという優れた効果が発現する。さらにはスピバルブ膜を構成する積層膜の薄膜化が可能で、製品のさらなるコンパクト化が図れる。さらには、エネルギーロスが少なくしかも生産性に優れるという優れた効果が発現す

る。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の磁気抵抗効果膜の断面図である。

【図2】図2は、本発明の作用を説明するための磁気抵抗効果膜、特に磁性多層膜の構造の模式図である。

【図3】図3は、本発明の作用を説明するための磁化曲線とMR曲線の模式図である。

【図4】図4は、基板の上に、反強磁性層を薄膜形成し、この反強磁性層の膜の上からレーザ照射して、反強磁性層を結晶化させる状態を示す概略断面図である。

【図5】図5は、基板の上に、軟磁性層、非磁性金属層、強磁性層および反強磁性層を順次薄膜形成し、この反強磁性層50の膜の上からレーザ照射して、反強磁性層を結晶化させる状態を示す概略断面図である。

【図6】図6は、反強磁性層の成膜中に経時的に堆積する堆積物に連続的にレーザ照射する状態を示す概略断面図である。

【図7】図7は、本発明の磁気抵抗効果型ヘッドの一例を示す概略斜視図である。

【図8】図8は、本発明の磁気抵抗効果型ヘッドの磁気抵抗効果膜と電極部との好適な接続状態を示す概略斜視図である。

【図9】図9は、本発明のM-Hループを示す図である。

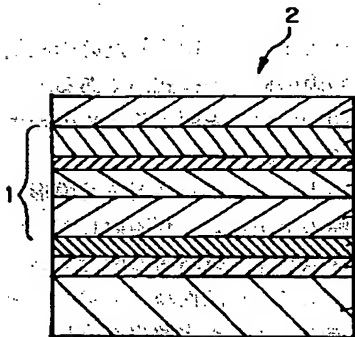
【図10】図10は、本発明の磁気抵抗効果素子（磁性多層膜）をヨーク型MRヘッドに応用した1例を示す一部省略断面図である。

【図11】図11は、本発明の磁気抵抗効果素子（磁性多層膜）をフラックスガイド型MRヘッドに応用した1例を示す一部省略断面図である。

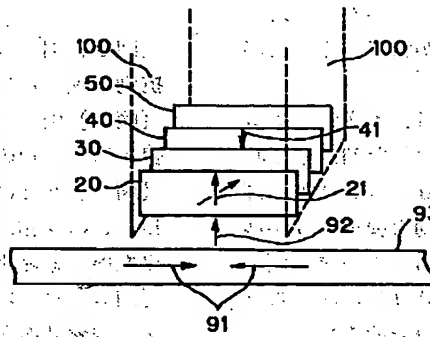
【符号の説明】

- 1…磁性多層膜
- 2…磁気抵抗効果膜
- 15…基板
- 17…下地層
- 19…反強磁性化プロモート層
- 20…軟磁性層
- 30…非磁性金属層
- 40…強磁性層
- 50…反強磁性層
- 80…保護層
- 90…記録媒体
- 93…記録面
- 150…磁気抵抗効果型ヘッド
- 200…磁気抵抗効果膜

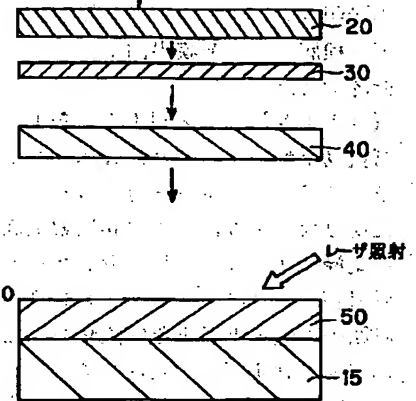
【図1】



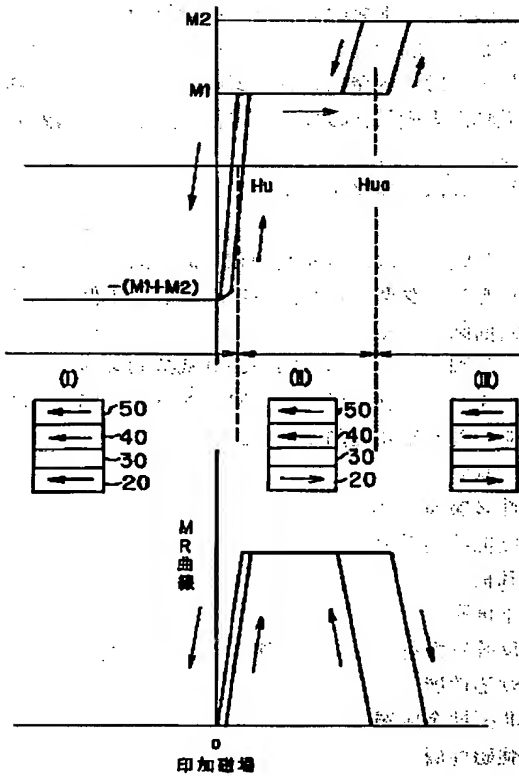
【図2】



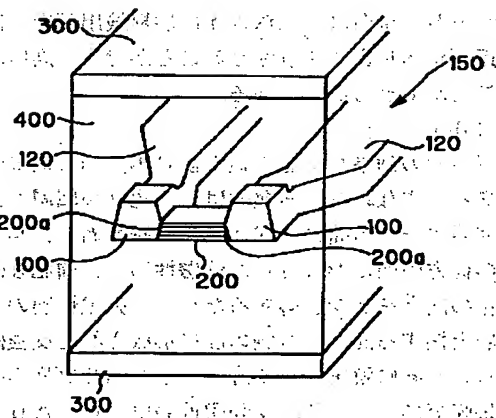
【図4】



【図3】

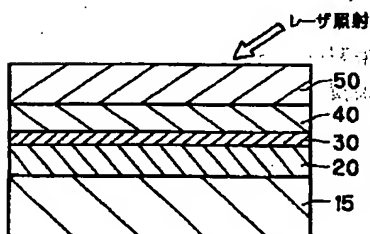


【図7】

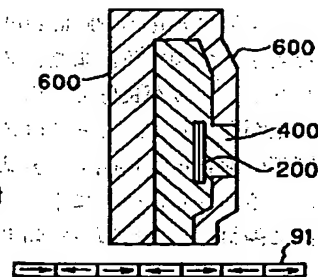
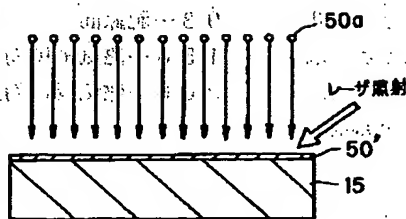


【図10】

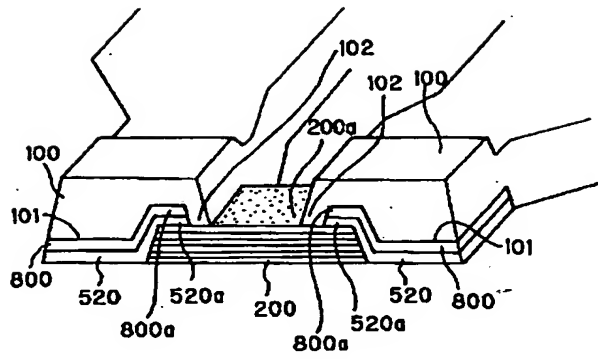
【図5】



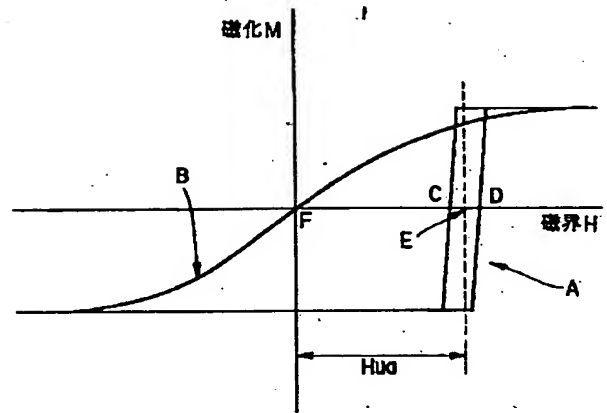
【図6】



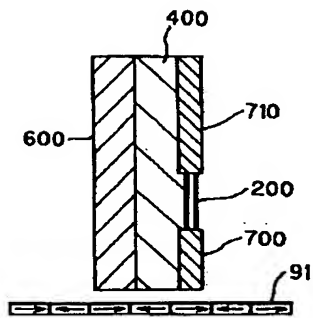
【図8】

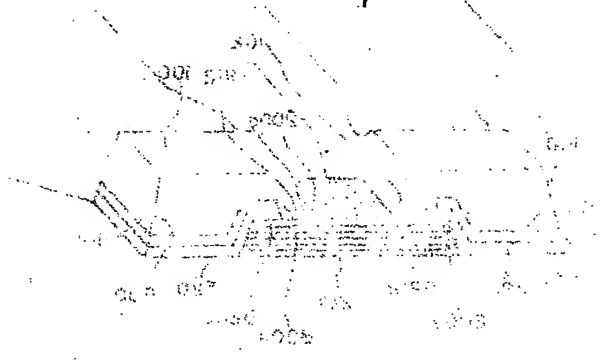
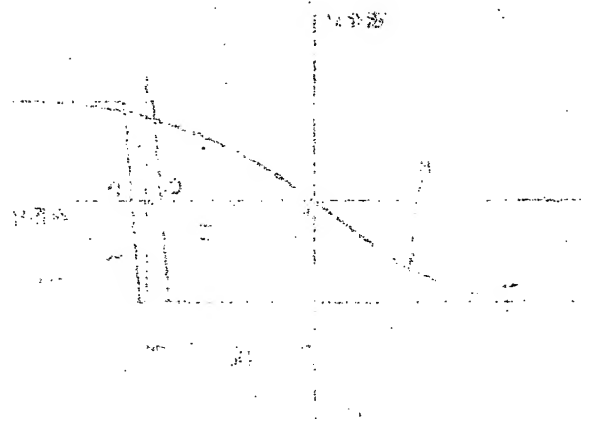


【図9】



【図11】





THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)